



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 196 23 664 C 1

⑤1 Int. Cl.®:  
**B 23 K 26/00**  
// B23K 101:34

⑳ Aktenzeichen: 196 23 664.9-34  
㉔ Anmeldetag: 13. 6. 96  
㉕ Offenlegungstag: —  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 16. 10. 97

DE 196 23 664 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦2 Erfinder:

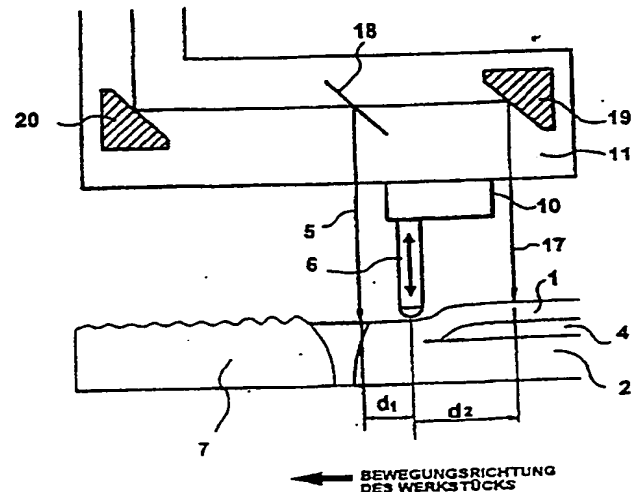
Neff, Willi, Dr., Kelmis, BE; Imhoff, Ralf, Dipl.-Ing.,  
52072 Aachen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 44 43 826 A1  
DE 34 07 770 A1

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken mit Laserstrahlung

⑤7 Die Erfindung betrifft das Schweißen von Werkstücken mittels Laserstrahl, wobei Maßnahmen zur Verringerung der Spaltweite zwischen den Werkstücken vorgesehen werden. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß auf wenigstens eines der Werkstücke während des Schweißprozesses ein Impulsübertrag in einem bestimmten, vorgebbaren Abstand  $d_1$  in Schweißrichtung vor dem Laserstrahl erfolgt, wobei der auf das oder die Werkstück(e) übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß wenigstens eines der Werkstücke eine elastische und/oder plastische Deformation in Richtung des Impulsübertrags erfährt, und daß in einem bestimmten vorgebbaren Abstand  $d_2$  in Schweißrichtung vor dem Ort der Impulsübertragung wenigstens eines der Werkstücke eine Vorwärmung erfährt. Anstelle oder zusätzlich zu der Vorwärmung kann in einem bestimmten, vorgebbaren Abstand  $d_3$  in Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl auf die Schweißnaht ein weiterer Impulsübertrag erfolgen, wobei der auf die Schweißnaht übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß die Schweißnaht eine elastische und/oder plastische Deformation erfährt.



DE 196 23 664 C 1

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken mit Laserstrahlung gemäß den Oberbegriffen der Patentansprüche 1, 2, 10, 11 und 21. Das bevorzugte Anwendungsgebiet der vorliegenden Erfindung ist das Verschweißen von Blechen im Automobilbau. Zum Verschweißen von beschichteten, insbesondere verzinkten Blechen ist die Erfindung in besonderem Maße geeignet.

## Stand der Technik

Beim Schweißen von Werkstücken (z. B. zwei oder mehrere Ebene oder gekrümmte Bleche übereinander) ist es erforderlich, die durch die Fertigungstoleranzen zwischen den Blechen vorhandene Spaltweite wenigstens im Bereich der Schweißnaht auszugleichen, um gute Schweißergebnisse zu erzielen. Beim Einsatz von Laserstrahlung für den Schweißprozeß kann die Spaltweite durch geeignet ausgebildete Haltevorrichtungen unter die für die Bearbeitung erforderliche Toleranzgrenze reduziert werden. Oft ist dazu noch der zusätzliche Andruck durch eine oder mehrere Rollen erforderlich.

In der DE 34 07 770 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verschweißen von Blechflanschen, insbesondere von Halbschalen eines Kraftstoffbehälters, mittels Laserstrahl offenbart, wobei die zu verschweißenden Blechflansche, angrenzend an die für die Schweißnaht vorgesehene Stelle, mittels Auflage und Niederhalter derart zusammengedrückt werden, daß sich an der für die Schweißnaht vorgesehenen Stelle eine spaltfreie Auflage der Blechflansche aufeinander ergibt. Zur weiteren Ausgestaltung dieser technischen Grundidee wird in der DE 34 07 770 A1 vorgeschlagen, daß in wenigstens eines der zu verschweißenden Bleche an der für die Schweißnaht vorgesehenen Stelle und in Richtung der vorgesehenen Schweißnaht verlaufend, eine sickenartige Vertiefung eingepreßt und der Laserstrahl entlang der sickenartigen Vertiefung geführt wird.

Entsprechend der Länge der Schweißnaht müssen für ein dauerndes Niederhalten entweder mehrere Auflage- und Niederhaltepunkte vorgesehen werden, oder es erfolgt eine statische Verpressung entlang der gesamten Schweißnaht durch einen geeigneten Spannrahmen, bestehend aus Auflage und Niederhalter. Alternativ ist auch eine Verschiebung von Auflage und Niederhalter entlang der Schweißnaht möglich, wozu in der DE 34 07 770 A1 vorgeschlagen wird, auf einem Grundgestell zwei Walzen anzuordnen und die zu verschweißenden Blechflansche bei feststehender Laserstrahl-Fokussiertheit zwischen oberer und unterer Walze hindurchzubewegen.

Nachteilig an dieser Anordnung ist zum Einen, daß das System aus Auflage und Niederhalter gemäß der Geometrie der zu verschweißenden Werkstücke ausgebildet sein muß. Für jede Serie von zu verschweißenden Werkstücken ist somit ein anderes System aus Auflage und Niederhalter erforderlich. Dies gilt entsprechend für die Variante mit den Walzen, da entsprechende Gestelle erforderlich sind, auf denen die Walzen bewegt werden können, damit die Blechflansche im Schweißbereich zusammengedrückt werden. Bei der Verwendung

von Blechen mit einer sickenartigen Vertiefung ist darüber hinaus ein zusätzlicher Schritt der Blechvorbereitung erforderlich. Weiterhin nachteilig ist an dieser Anordnung, daß mit weiteren Maßnahmen sichergestellt sein muß, daß der fokussierte Laserstrahl in Schweißrichtung genau über der Sicke geführt wird.

## Darstellung der Erfindung

Demgegenüber liegt der Erfindung das Problem zugrunde, ein Verfahren und Vorrichtungen zum Schweißen von Werkstücken mit Laserstrahlung anzugeben, mit denen eine Vorbereitung der zu verschweißenden Werkstücke vermieden und auf aufwendige Halte- und Verpreßmaßnahmen verzichtet werden kann. Weiterhin sollen mit der Erfindung verschiedene Werkstückgeometrien verschweißt werden können, ohne daß die Vorrichtungen konstruktiv geändert werden müßten.

Eine Lösung für das Verfahren ist in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 2 angegeben. Lösungen für die Vorrichtungen sind in den nebengeordneten Ansprüchen 10, 11 und 21 angegeben. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung finden sich in den Unteransprüchen.

Die besonderen Vorteile der vorliegenden Erfindung gegenüber dem vorveröffentlichten Stand der Technik liegen in dem Prinzip der dynamischen Spaltweitenreduzierung im Bereich der Schweißstelle, wie es in der älteren Anmeldung DE 44 43 826 A1 der Anmelderin bereits beschrieben ist.

Bei diesem Prinzip (siehe Fig. 1 bis 4) wird die Spaltweite entlang der Schweißnaht dadurch reduziert, daß auf wenigstens eines der zu verschweißenden Werkstücke im Bereich der Schweißstelle ein Impulsübertrag nach Art eines Kraftstoßes erfolgt. Hierzu dient ein Stößel, mit dem kurzzeitige Impulse auf die Werkstückoberfläche übertragen werden. Sind die Impulse zeitlich kurz genug, so bleibt die Lage des gesamten Werkstücks aus Gründen der Massenträgheit praktisch unverändert. Dagegen erfolgt im Bereich der Auftrefffläche des Stößels eine teils elastische, teils plastische Deformation des oberen Werkstücks in Richtung des unteren. Die Spaltweite wird dadurch auf der Schweißlinie so stark verringert, daß das Schweißen mittels Laserstrahl möglich wird. Der Impulsübertrag ist dabei so zu bemessen, daß das untere Werkstück nach Möglichkeit nicht deformiert wird. Mit diesem Prinzip kann auch eine Reduktion der Spaltweite erreicht werden, wenn mehr als zwei Bleche übereinander simultan verschweißt werden sollen. Der Impulsübertrag erfolgt in der Nähe zur Auftreffstelle des Laserstrahls. Der jeweils günstigste Abstand  $d_1$  in Schweißrichtung zwischen der Stelle des Impulsübertrags und der Auftreffstelle des Laserstrahls hängt unter anderem von der Werkstückgeometrie, der Materialstärke und der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks (bei ruhendem Laserschweißkopf) oder des Laserschweißkopfes (bei ruhendem Werkstück) ab.

Entlang der Schweißlinie kann sowohl kontinuierlich geschweißt werden, indem sich die Impulse mit ausreichend hoher Frequenz wiederholen und jeweils überlappend aufgebracht werden oder auch punktuell mit vorgegebenem Abstand. Insbesondere können die Werkstücke entlang der Schweißlinie zunächst mit hoher Geschwindigkeit punktuell verschweißt (geheftet) werden, um in einem zweiten Arbeitsgang ohne zusätzliche mechanische Deformation eine kontinuierliche Schweißnaht herzustellen.

Bei diesem Prinzip der dynamischen Spaltweitenreduzierung ist also eine statische Verpressung der zu verschweißenden Werkstücke nicht erforderlich. Somit entfallen aufwendige Haltevorrichtungen mit Auflage und Niederhalter. Vielmehr ist eine einseitige Halterung der Werkstücke ausreichend. Dadurch wird auch das Verschweißen von vergleichsweise kompliziert geformten Werkstücken nur durch einseitige Fixierung der Werkstücke möglich.

Durch die vorgegebene Position des Impulsübertrags vor der Auftreffstelle des Laserstrahls auf das obere Werkstück entfallen außerdem Maßnahmen wie das Ausrichten des Laserstrahlfokus auf eine etwaige sickenartige Vertiefung. Die Position des Laserstrahlfokus liegt automatisch auf dem Bereich der reduzierten Spaltweite.

Neu gegenüber der älteren Patentanmeldung P 44 43 826 A1 ist zum einen, daß beim erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen wird, daß in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand  $d_2$  in Schweißrichtung vor dem Ort der Impulsübertragung wenigstens eines der Werkstücke eine Vorwärmung erfährt. Weiterhin neu ist beim vorliegenden Erfindungsgegenstand, daß in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand  $d_3$  in Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl auf die Schweißnaht ein Impulsübertrag erfolgt, wobei der auf die Schweißnaht übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß die Schweißnaht eine elastische und/oder plastische Deformation erfährt.

Hinsichtlich der erfindungsgemäßen Vorrichtungen liegen gegenüber der älteren Patentanmeldung P 44 43 826 A1 folgende Neuerungen vor. Zum einen sind Stößel und Stößelantrieb an der Fokussieroptik angebracht, wobei gegebenenfalls geeignete Mittel zum Dämpfen des Rückstoßes auf die Fokussieroptik vorgesehen werden müssen. Dabei muß der Stößelantrieb gegenüber der Fokussieroptik verschiebbar gelagert sein, damit der optimale Vorlauf  $d_1$  zwischen Stößel und Laserfokus eingestellt werden kann. In einer anderen Variante sind der Stößel und der Stößelantrieb über ein senkrechtes Verbindungselement an derselben Haltevorrichtung befestigt wie die Laserfokussieroptik. Dadurch entfallen in der Regel zusätzliche Dämpfungsmaßnahmen. In diesem Fall ist vorzugsweise die gesamte Einheit von Stößel, Stößelantrieb und Verbindungselement an der Haltevorrichtung verschiebbar, um den optimalen Vorlauf  $d_1$  einzustellen. Eine verschiebbare Lagerung ist aber auch zwischen Stößelantrieb und Verbindungselement möglich. Eine weitere Variante gemäß dem unabhängigen Anspruch 21 sieht vor, den Stößel gleichzeitig als Schutzgasdüse zu verwenden, so daß er eine im wesentlichen konische Form hat und im Innern hohl ausgebildet ist. Durch Befestigung des Systems aus Stößel, der gleichzeitig Schutzgasdüse ist und Stößelantrieb an der Laserfokussieroptik wird eine Art "Miniaturschweißkabine" gebildet. Dadurch wird die notwendige Schutzgasmenge stark vermindert und außerdem das Ausdringen der Laserstrahlung aus der Bearbeitungszone verhindert. Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsanlage können dadurch reduziert werden.

Nachfolgend sind weitere Vorteile des Anmeldungsgegenstands aufgeführt.

1. Bei beschichteten Blechen (Zink, Oxide, Kunststoff, Öl, Fett etc.) weist die Schicht in der Regel einen niedrigeren Siedepunkt als das Grundmaterial auf. Beim Schweißvorgang können daher

Dampfblasen entstehen, die zu einer schlechten Qualität der Schweißnaht führen. Kann der Dampf hingegen ungehindert entweichen, so bildet das geschmolzene Grundmaterial eine feste Verbindung ohne eingeschlossene Gasblasen. Die durch den Stößel hervorgerufene plastische Verformung der Bleche bietet eine solche Möglichkeit. Wie in der Fig. 4 links im Schnitt dargestellt ist, liegen die zu verschweißenden Bleche im Bereich der Schweißnaht eng aneinander; daneben wurde links und rechts ein Hohlraum gebildet, in den der Dampf entweichen kann. Dies wird in DE 34 07 770 A1 durch Einprägen einer Sicke in wenigstens eines der Bleche erreicht. Wird die Verformung am Auftreffort des Laserstrahls gebildet gemäß der vorliegenden Erfindung, so kann der Dampf zusätzlich noch nach vorne entweichen (siehe Fig. 4 rechts). Diese Eigenschaft wirkt um so effektiver, je schmaler die Zone der plastischen Verformung gehalten wird.

2. Die direkte mechanische Bearbeitung der Blechoberseite durch den Stößel bewirkt eine lokale Reinigung vor dem Auftreffort der Laserstrahlung (Bereich des Vorlaufs  $d_1$ ). Sofern der Impulsübertrag des Stößels so gewählt wird, daß sich die Wirkung auch auf die darunter liegenden Bleche überträgt, ergibt sich eine Verdrängung von Belägen auch dort. Das ist insbesondere bei lockeren Belägen wie Öl, Fett oder Rost vorteilhaft.

3. Weisen die Bleche einen Oxidbelag auf, wie z. B. Aluminium, der in der Regel spröder als das Grundmaterial ist, so reißt dieser durch die impulsartige Bearbeitung bei allen zu verschweißenden Blechen auf und das Grundmaterial wird besser verschweißt.

4. Durch die mechanische Bearbeitung der Blechoberfläche vor der Schweißnaht wird eine gleichmäßige Oberflächenstruktur erzielt, die sich positiv auf eine gleichmäßige Einkoppelung der Laserstrahlung auswirkt. Bei geeigneter Oberflächenbeschaffenheit des Stößels (Rauigkeit) kann insbesondere eine Oberflächenstruktur des Werkstücks erzielt werden, die den Reflexionsgrad für die Laserstrahlung herabsetzt und so den Schweißprozeß effizienter macht.

5. Wird der Stößel im Abstand  $d_1$  vor dem Auftreffort des Laserstrahls geführt, so sind die zu verschweißenden Bleche dort kalt. Sie weisen also (bei gleichen Material) die gleichen mechanischen Eigenschaften auf. Wird das obere Blech hingegen am Ort des Stößels oder davor bereits vorgewärmt (erweicht) (siehe Fig. 9), so ist eine plastische Verformung mit einem geringeren Impulsübertrag möglich. Wird der Impulsübertrag so gesteuert, daß auch das untere Blech deformiert wird, so wird sich das untere kalte Blech aufgrund seiner höheren Elastizität stärker zurückbiegen als das weichere obere. Dadurch wird der Schweißspalt nicht nur verringert, sondern die Bleche werden durch Eigenspannungen sogar gegeneinander gepreßt. Diese Vorerwärmung kann beispielsweise durch einen aus dem Hauptlaserstrahl ausgekoppelten Teilstrahl oder durch eine separate Wärmequelle erfolgen. Die separate Wärmequelle kann z. B. ein Diodenlaser sein. Die separate Wärmequelle hat den Vorteil, daß die Heizleistung zur Prozeßoptimierung unabhängig vom Hauptstrahl gewählt werden kann.

6. Beim Schweißen mit Laserstrahlung treten unter Umständen mechanische Spannungen im Material im Bereich der Schweißnaht auf. Wird ein weiterer Stößel hinter dem Auftreffort des Laserstrahls entlang der Schweißnaht geführt, so können durch die impulsartige Bearbeitung die mechanischen Spannungen herausgearbeitet werden (siehe Fig. 10).

7. Beim Schweißen mit Laserstrahlung wird in vielen Fällen durch eine Düse Schutzgas zugeführt und damit die Luft von der Schweißnaht verdrängt. Durch eine spezielle Ausgestaltung des Stößels kann dieser gleichzeitig auch die Düsenfunktion mitübernehmen. Der Schutzgasstrom kann gleichzeitig die Kühlung des Stößels bewirken.

Eine besondere Kombination unter Vereinigung aller Vorteile ergibt sich, wenn der Stößel, Schutzgasdüse und Laserkopf zur Einkoppelung der Strahlung kombiniert werden. Zusätzlich bildet diese Kombination eine Art "Miniaturschweißkabine", die die notwendige Schutzgasmenge stark vermindert und außerdem das Ausdringen der Laserstrahlung aus der Bearbeitungszone verhindert. Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsanlage können dadurch reduziert werden. Durch geeignete Formung des Stößels kann dieser auch die unter Punkt 6. genannte Nachbearbeitung der Schweißnaht übernehmen. Außerdem ist ebenso die Kombination mit einer Vorwärmung möglich.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher beschrieben. Die Beschreibung erfolgt für das Hauptanwendungsgebiet der Erfindung, das Schweißen von Blechen mit Laserstrahlung. Es zeigen:

Fig. 1 Schweißen von Blechen im Überlappstoß;

Fig. 2a Verschweißen von zwei Blechen mit Laserstrahlung bei zu großem Schweißspalt;

Fig. 2b Verringerung des Schweißspaltes mit einem Stößel;

Fig. 3 Grundprinzip des Einsatzes eines Stößels vor dem bearbeitenden Laserstrahl;

Fig. 4 (links: Querschnitt; rechts: Aufsicht) Entweichen vom verdampften Material;

Fig. 5 plastische Verformung von gefalzten Blechen;

Fig. 6 Ausführungsformen der Stößelspitze;

Fig. 7 erste Ausführungsform mit Stößelantrieb an der Fokussieroptik;

Fig. 8 zweite Ausführungsform mit gemeinsamer Haltevorrichtung für Fokussieroptik und Stößelantrieb;

Fig. 9 dritte Ausführungsform mit einem ausgekoppelten Laserstrahl zur Vorwärmung;

Fig. 10 vierte Ausführungsform mit einem zusätzlichen Stößel, in Schweißrichtung gesehen hinter dem Laserstrahl;

Fig. 11 fünfte Ausführungsform: Kombination von Stößel, Schutzgasdüse und Fokussieroptik (nicht dargestellt ist der Stößelantrieb).

#### Ausführungsformen der Erfindung

In Fig. 1 sind zwei Bleche 1 und 2 abgebildet, die entlang einer Linie 3 im Überlappstoß zu verschweißen sind. Aufgrund von Toleranzen bei der Herstellung der Bleche verbleibt beim Übereinanderlegen der Bleche ein Spalt 4. Wie in Fig. 2a dargestellt ist, ist der Spalt 4 (hier schematisch dargestellt) für den Einsatz von Laser-

strahlung 5 zu groß, um ein gutes Schweißergebnis zu erzielen. Ein gutes Schweißergebnis wird hingegen erzielt, wenn die Bleche im Bereich der Schweißnaht aneinandergedrückt werden. Bei der vorliegenden Erfindung wird hierzu ein Stößel 6 verwendet, der durch eine Auf- und Abbewegung impulsartig auf das obere Blech einwirkt. Durch die Übertragung der Impulse auf die Werkstückoberfläche erfolgt im Bereich der Auftrefffläche des Stößels 6 eine teils elastische, teils plastische Deformation des oberen Bleches in Richtung des unteren. Der Spalt 4 wird dadurch soweit reduziert bzw. ganz beseitigt, daß das Schweißen mittels Laserstrahl möglich wird.

Fig. 3 zeigt das Grundprinzip der vorliegenden Erfindung. Die übereinanderliegenden Bleche 1 und 2 werden unter dem Stößel 6 und der Laserstrahlung 5 in Richtung des Pfeils auf dem Blech 1 bewegt, wozu an sich bekannte Halte- und Positioniereinrichtungen verwendet werden. Entlang der Schweißlinie 3 erfolgt durch die Einwirkung des Stößels 6, der sich vor dem Auftreffpunkt des Laserstrahls 5 auf- und abbewegt (siehe Pfeil), eine elastische und/oder plastische Deformation des oberen Bleches 1 in Richtung des unteren Bleches 2. Durch eine gemeinsame Führung von Stößel 6 und Laserstrahl 5 trifft der dem Stößel 6 nachfolgende Laserstrahl 5 somit automatisch auf einen Bereich, in dem die Spaltweite in geeignetem Maß reduziert worden ist.

In Fig. 4 ist dargestellt, wie sich beim Schweißen entstehender Dampf von der Schweißstelle entfernen kann. Eine Dampfbildung kommt hauptsächlich bei Verschweißen von beschichteten Blechen vor, da das Schichtmaterial in der Regel einen niedrigeren Siedepunkt als das Grundmaterial aufweist. Der Dampf 8 kann sowohl seitlich als auch vor der Schweißnaht 7 nach vorne entweichen. Bei einer Verwendung einer durchgehenden Sicke könnte der Dampf hingegen nur seitlich entweichen.

Falls der Einfluß der elastischen und/oder plastischen Deformation auf einen möglichst engen Bereich um die Schweißnaht begrenzt werden soll, kann vorgesehen werden, die Bleche in diesem Bereich geeignet vorzubereiten, beispielsweise durch Falzen, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist. Dadurch wird entlang der Schweißlinie eine erhöhte Steifigkeit der Bleche und dadurch eine Entkopplung erzielt.

Die Form des zum Impulsübertrag verwendeten Stößels an der Stelle, an der der Kontakt mit dem Werkstück entsteht, sollte vorteilhafterweise rotationssymmetrisch ausgeführt sein. Dadurch kann durch eine zusätzlich zur axialen Bewegung überlagerte Drehung erreicht werden, daß durch den ständigen impulsartigen Kontakt mit dem Werkstück eine gleichmäßige Abnutzung und dadurch eine verlängerte Lebensdauer der Stößelspitze erzielt wird. Ist sie kugelförmig, so wird eine möglichst gleichmäßige Beanspruchung des Werkstücks erreicht; der Bereich, in dem die tolerierte Spaltweite eingehalten wird, wird dadurch jedoch relativ schmal. Wird die Kugelform hingegen am Ende abgeflacht oder ist die Form zylindrisch, dann kann über den Durchmesser der Stirnfläche die Fläche der Impulsübertragung an die Erfordernisse des Schweißvorgangs angepasst werden. Fig. 6 zeigt die verschiedenen Ausführungsformen für den Stößelkopf 9 des Stößels, nämlich: links: kugelförmig; Mitte: kugelförmig mit Abflachung; rechts: zylinderförmig.

Eine erste Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtungen ist in Fig. 7 in Schnittdarstellung parallel

zur Schweißrichtung und in Höhe der Schweißnaht dargestellt. Ein oberes Blech 1 soll mit einem unteren Blech 2 verschweißt werden. Zur Reduzierung oder Beseitigung des Spaltes 4 ist ein Stößel 6 vorgesehen, mit dem durch eine Auf- und Abbewegung eine Folge von Impulsen auf das obere Blech 1 übertragen werden. Die Antriebseinrichtung 10 für den Stößel 6, und zwar sowohl für die Rotation als auch für die axiale Impulsübertragung, kann beispielsweise analog eines pneumatischen Bohrhammers ausgebildet sein. Die Energie, die bei bekannten Schlagwerken in einem Impulsübertrag auf das Werkstück übertragen werden kann, liegt im Bereich von 0,2 bis 40 J. Dies ist ausreichend, um Bleche mit Dicken im Millimeterbereich geeignet deformieren zu können. Die Einwirkdauer bei der Impulsübertragung ist typisch einige Millisekunden, so daß das in der Regel mehrere Kilogramm schwere Blech als Ganzes aufgrund seiner Massenträgheit nicht ausgelenkt wird. Die Verformung wird also in einem kleinen Bereich um die Schweißstelle durch dynamisch wirkende Kräfte und nicht durch statischen Druck erzielt. Die Repetitionsrate der Pulse kann beispielsweise bis 4000 Impulse/Minute betragen. Mit einem Durchmesser der Stößelspitze von 0,5 cm wäre damit bei kontinuierlicher Schweißnaht eine Schweißgeschwindigkeit von bis zu 20 m/min erzielbar. Die Antriebseinrichtung 10 ist unterhalb der Fokussieroptik 11 an dieser verschiebbar befestigt, so daß ein optimaler Abstand d1 von Stößel 6 und Laserstrahl 5 eingestellt werden kann. Dieser hängt unter anderem von der Werkstückgeometrie, der Blechdicke und der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks ab. In den Fig. 7 bis 11 wird das Werkstück bewegt. Umgekehrt kann selbstverständlich das Werkstück bzw. die beiden zu verschweißenden Bleche 1 und 2 ruhen und die Fokussieroptik 11 und der Stößel 6 werden über das Werkstück entlang der Schweißlinie geführt. Die Fokussieroptik 11 enthält üblicherweise einen Umlenkspiegel 12 und einen Fokussierspiegel 13, so daß der von einer bekannten Laserstrahlquelle kommende Laserstrahl 5 in geeigneter Weise umgelenkt und auf das Werkstück fokussiert werden kann. Nicht dargestellt sind dem Fachmann bekannte Einrichtungen, mit denen die Bleche gehalten, positioniert und gegebenenfalls bewegt werden können. Ebenfalls nicht dargestellt sind dem Fachmann bekannte Halte- und Führungseinrichtungen für die Laserstrahlquelle und die Fokussieroptik. Falls die Antriebseinrichtung 10 selbst nicht genügend schwingungsfrei aufgebaut ist, kann zusätzlich noch ein Dämpfungsglied vorgesehen werden, um die Auswirkung der Rückstöße auf die Fokussieroptik zu reduzieren.

Fig. 8 zeigt eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtungen. Im Gegensatz zu Fig. 7 sind bei dieser Variante der Stößel 6 und die Antriebseinrichtung 10 nicht direkt an der Fokussieroptik 11 befestigt. Vielmehr ist eine gemeinsame Haltevorrichtung 14 vorgesehen, an der sowohl die Fokussieroptik 11 als auch das System aus Stößel 6 und Antriebseinrichtung 10 befestigt sind. Für die Befestigung der Antriebseinrichtung 10 ist ein senkrecht verlaufendes Verbindungselement 15 vorgesehen. Im dargestellten Beispiel ist zusätzlich noch ein Dämpfungsglied 16 eingebaut worden. Das System aus Stößel 6, Antriebseinrichtung 10, Verbindungselement 15 und Dämpfungsglied 16 ist so an der Haltevorrichtung 14 zu befestigen, daß an wenigstens einer Stelle einer Verschiebung möglich ist, um den optimalen Abstand d1 zwischen Stößel 6 und Laserstrahl 5 einstellen zu können.

Fig. 9 zeigt den Einsatz eines Vorwärmstrahls 17, mit dem das obere Blech 1 in einem geeigneten Abstand d2 vor der Auftreffstelle des Stößels 6 vorgewärmt wird. Dadurch erfährt das obere Blech 1 eine Erweichung und es ist eine plastische Deformation mit geringerem Impulsübertrag möglich. Zur Erzeugung des Vorwärmstrahls 17 wird mit einer Teilerplatte 18 ein Teil des einfallenden Laserstrahls ausgekoppelt und über einen Umlenkspiegel 19, der auch fokussierend ausgebildet sein kann, auf das obere Blech 1 gelenkt. Zur Fokussierung des Laserstrahls 5 auf die Schweißstelle wird entweder der Umlenkspiegel 20 fokussierend ausgebildet oder unterhalb der Teilerplatte 18 eine Fokussierlinse vorgesehen. Die Aufteilung der Leistungen der beiden Teilstrahlen 5 und 17, die Fokussierung des Vorwärmstrahls 17, der Vorlauf d2 des Vorwärmstrahls 17 vor dem Stößel 6 und die Vorschubgeschwindigkeit werden so gewählt und aufeinander abgestimmt, daß das Material des oberen Blechs 1 über eine geeignete Breite am Ort des Stößels die gewünschte Materialeigenschaften erhält, insbesondere zur Vorbereitung der plastischen Verformung. Neben der Vorbereitung der Schweißstelle durch Impulsübertrag kann mit demselben Prinzip auch eine Nachbereitung der fertigen Schweißnaht erfolgen (Fig. 10). Diese Nachbereitung betrifft insbesondere das Glätten der Naht und das Herausarbeiten von mechanischen Spannungen, die durch den Schweißvorgang verursacht werden. Hierzu werden in Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl ein zweiter Stößel 6' und eine zweite Antriebseinrichtung 10' vorgesehen. Das System aus Stößel 6' und Antriebseinrichtung 10' kann entweder an der Fokussieroptik 11 befestigt sein, gegebenenfalls mit Dämpfungsglied, wie dies in Fig. 10 dargestellt ist, oder es wird von der Fokussieroptik 11 entkoppelt an der gemeinsamen Haltevorrichtung 14 (vgl. Fig. 8) befestigt. Die Befestigung erfolgt in geeigneter Weise verschiebbar, um den Nachlauf d3 optimal einstellen zu können.

Fig. 11 zeigt die Ausbildung eines Stößels 6 für Schweißvorgänge unter Zuführung eines Schutz- oder Bearbeitungsgases. Der Stößel 6 ist im Inneren hohl und konisch ausgebildet und übernimmt gleichzeitig die Funktion einer Schutzgasdüse. Das Schutz- oder Bearbeitungsgas 21 wird über einen Anschlußstutzen 22 in das Innere des Stößels 6 geleitet. Der Laserstrahl 5 wird über zwei Umlenkspiegel 12 und eine Fokussierlinse 23 durch das Innere des Stößels 6 auf die Schweißstelle geleitet. Die Fokussierlinse 23 dient gleichzeitig als Abdeckung der Fokussieroptik 11 und verhindert das Eindringen von Schutz- oder Bearbeitungsgas oder der Schweißdämpfe in das Innere der Fokussieroptik. Die Antriebseinrichtung für den Stößel ist zur Vereinfachung nicht dargestellt. Durch die besondere Ausgestaltung des Stößels 6 als Schutzgasdüse wird eine Art "Miniaturschweißkabine" gebildet. Dadurch wird die notwendige Menge an Schutz- oder Bearbeitungsgas stark vermindert. Außerdem wird das Austreten von Laserstrahlung aus der Bearbeitungszone verhindert, so daß Schutzmaßnahmen an der Bearbeitungsanlage reduziert werden können. Diese Ausführungsform gemäß Fig. 11 kann kombiniert werden mit einem Vorwärmstrahl (vgl. Fig. 9) und/oder einer zusätzlichen Nachbearbeitung (vgl. Fig. 10).

Da die Spaltweite längs der Schweißlinie unterschiedlich groß sein kann, die Bleche aufgrund der räumlichen Struktur unterschiedliche Steifigkeit besitzt oder Bleche unterschiedlicher Dicke verschweißt werden sollen, ist es sinnvoll, das erfindungsgemäße Verfahren mit einer

Regelung zur Impulssteuerung auszustatten. Dazu kann beispielsweise die Schallemission derart ausgewertet werden, daß der Kontakt der Werkstücke erkannt wird, die Kinetik des Stößels verfolgt werden, um die Steifigkeit des Materials und die Deformationstiefe zu ermitteln etc. Sofern der Stößel in geeigneter Nähe zum Auftreffpunkt des Laserstrahls angebracht wird, können Regelgrößen auch direkt aus der Prozeßkontrolle des Schweißvorgangs abgeleitet werden. Umgekehrt können aus den gemessenen Parametern am Stößel auch Regelgrößen für den Laser abgeleitet werden (Leistung, Zuführung von Zusatzmaterial und anderes).

#### Bezugszeichenliste

1, 2 Bleche	
3 Schweißlinie im Überlappstoß	
4 Spalt beim Übereinanderlegen der Bleche	
5 Laserstrahlung	
6, 6' Stößel	20
7 Schweißnaht	
8 Dampf	
9 Stoßkopf	
10, 10' Antriebseinrichtung für Stößel	
11 Fokussieroptik	25
12 Umlenkspiegel	
13 Fokussierspiegel	
14 Haltevorrichtung	
15 Verbindungselement	
16 Dämpfungsglied	30
17 Vorwärmstrahl	
18 Teilerplatte	
19, 20 Umlenkspiegel	
21 Schutz- oder Bearbeitungsgas	
22 Anschlußstutzen	35
23 Fokussierlinse	

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Schweißen von Werkstücken mittels Laserstrahl, mit Maßnahmen zur Verringerung der Spaltweite zwischen den Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, daß auf wenigstens eines der Werkstücke während des Schweißprozesses ein Impulsübertrag in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand d1 in Schweißrichtung vor dem Laserstrahl erfolgt, wobei der auf das oder die Werkstück(e) übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß wenigstens eines der Werkstücke eine elastische und/oder plastische Deformation in Richtung des Impulsübertrags erfährt, und daß in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand d2 in Schweißrichtung vor dem Ort der Impulsübertragung wenigstens eines der Werkstücke eine Vorerwärmung erfährt.
2. Verfahren zum Schweißen von Werkstücken mittels Laserstrahl, mit Maßnahmen zur Verringerung der Spaltweite zwischen den Werkstücken, dadurch gekennzeichnet, daß auf wenigstens eines der Werkstücke während des Schweißprozesses ein Impulsübertrag in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand d1 in Schweißrichtung vor dem Laserstrahl erfolgt, wobei der auf das oder die Werkstück(e) übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß wenigstens eines der Werkstücke eine elastische und/oder plastische Deformation in Richtung

- des Impulsübertrags erfährt, und daß in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand d3 in Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl auf die Schweißnaht ein Impulsübertrag erfolgt, wobei der auf die Schweißnaht übertragene Impuls derart zu bemessen ist, daß die Schweißnaht eine elastische und/oder plastische Deformation erfährt.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einem bestimmten, vorgebbarem Abstand d2 in Schweißrichtung vor dem Ort der Impulsübertragung wenigstens eines der Werkstücke eine Vorerwärmung erfährt.
  4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß für die Vorerwärmung ein Teil des für das Schweißen vorgesehenen Laserstrahls ausgekoppelt wird.
  5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorerwärmung mit einer separaten Wärmequelle erfolgt, z. B. mit einem Diodenlaser.
  6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Bereiche der Impulsübertragung für aufeinanderfolgende Impulse entlang der Schweißlinie überlappen.
  7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Impulsübertragung für aufeinanderfolgende Impulse mit einem vorgebbarem Abstand voneinander auf der Schweißlinie erfolgt.
  8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Regelung zur Impulssteuerung vorgesehen ist.
  9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schallemission bei Kontakt der Werkstücke ausgewertet wird.
  10. Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken (1, 2) mittels Laserstrahl (5), mit einer Laserstrahlquelle, einer Fokussieroptik (11) sowie Einrichtungen zum Positionieren und Halten der zuverschweißenden Werkstücke (1, 2), dadurch gekennzeichnet, daß ein Stößel (6) und eine Antriebseinrichtung (10) für den Stößel (6) vorgesehen sind, wobei mit der Antriebseinrichtung (10) der Stößel (6) zur Übertragung von Impulsen auf das dem Stößel (6) zugewandte Werkstück (1) zubewegt werden kann, und daß die Antriebseinrichtung (10) an der Fokussieroptik (11) in Schweißrichtung vor dem Laserstrahl (5) und zur Einstellung eines bestimmten Abstandes d1 zwischen Laserstrahl (5) und Stößel (6) verschiebbar befestigt ist.
  11. Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken (1, 2) mittels Laserstrahl (5), mit einer Laserstrahlquelle, einer Fokussieroptik (11), die an einer Haltevorrichtung (14) befestigt ist, sowie Einrichtungen zum Positionieren und Halten der zuverschweißenden Werkstücke, dadurch gekennzeichnet, daß ein Stößel (6) und eine Antriebseinrichtung (10) für den Stößel (6) vorgesehen sind, wobei mit der Antriebseinrichtung (10) der Stößel (6) zur Übertragung von Impulsen auf das dem Stößel (6) zugewandte Werkstück (1) zubewegt werden kann, und daß die Antriebseinrichtung (10) über ein Verbindungselement (15) an der Haltevorrichtung (14) der Fokussieroptik (11) in Schweißrichtung vor dem Laserstrahl (5) und zur Einstellung eines bestimmten Abstandes d1 zwischen Laserstrahl (5) und Stößel (6) verschiebbar befestigt ist.
  12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch

gekennzeichnet,  
daß in der Fokussieroptik (11) eine Teilerplatte (18)  
vorgesehen ist, mit der aus dem Bearbeitungslaser-  
strahl (5) ein Teilstrahl (17) ausgekoppelt wird,  
daß ein Umlenkspiegel (19) vorgesehen ist, mit dem  
der ausgekoppelte Teilstrahl (17) auf die Werk-  
stückoberfläche (1) gerichtet wird und  
daß der Umlenkspiegel (19) in der Fokussieroptik  
(11) verschiebbar und derart positioniert ist, daß  
der ausgekoppelte Teilstrahl (17) in einem be-  
stimmten, vorgebbarem Abstand d2 in Schweiß-  
richtung vor dem Ort der Impulsübertragung auf  
die Werkstückoberfläche (1) trifft.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß der Umlenkspiegel (19) für den  
Teilstrahl (17) fokussierend ausgebildet ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch  
gekennzeichnet, daß an der Fokussieroptik (11)  
oder der Haltevorrichtung (14) eine Optik für eine  
zusätzliche Laserstrahlung, z. B. ein Diodenlaser,  
vorgesehen ist und daß diese Optik verschiebbar  
und derart positioniert ist, daß die zusätzliche La-  
serstrahlung in einem bestimmten, vorgebbarem  
Abstand d2 in Schweißrichtung vor dem Ort der  
Impulsübertragung auf die Werkstückoberfläche  
(1) trifft.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis  
14, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer Stö-  
ßel (6') und eine weitere Antriebseinrichtung (10')  
für diesen Stößel (6') vorgesehen sind, wobei mit  
der Antriebseinrichtung (10') der weitere Stößel  
(6') zur Übertragung von Impulsen auf das dem  
Stößel (6') zugewandte Werkstück (1) zubewegt  
werden kann, und daß die weitere Antriebseinrich-  
tung (10') an der Fokussieroptik (11) in Schweiß-  
richtung hinter dem Laserstrahl (5) und zur Einstel-  
lung eines bestimmten Abstandes d3 zwischen dem  
weiteren Stöße (6') und dem Laserstrahl (5) ver-  
schiebbar befestigt ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis  
14, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer Stö-  
ßel (6') und eine weitere Antriebseinrichtung (10')  
für diesen Stößel (6') vorgesehen sind, wobei mit  
der Antriebseinrichtung (10') der weitere Stößel  
(6') zur Übertragung von Impulsen auf das dem  
Stößel (6') zugewandte Werkstück (1) zubewegt  
werden kann, und daß die weitere Antriebseinrich-  
tung (10') über ein Verbindungselement an der Hal-  
tevorrichtung (14) der Fokussieroptik (11) in  
Schweißrichtung hinter dem Laserstrahl (5) und zur  
Einstellung eines bestimmten Abstandes d3 zwi-  
schen dem weiteren Stöße (6') und dem Laserstrahl  
(5) verschiebbar befestigt ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis  
16, dadurch gekennzeichnet, daß der erste und/  
oder der zweite Stößel (6, 6') rotationssymmetrisch  
ausgebildet sind/ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß einer oder beide Stößel (6, 6')  
einen kugelförmigen oder zylinderförmigen Stoß-  
kopf (9) aufweisen.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß der kugelförmige Stoßkopf (9)  
an der dem Werkstück (1) zugewandten Seite eine  
Abflachung aufweist, die parallel zur Werkstück-  
oberfläche verläuft.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis  
19, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder beide

Stößel (6, 6') zusätzlich zur axialen Bewegung eine  
Rotation ausführen können.

21. Vorrichtung zum Schweißen von Werkstücken  
(1, 2) mittels Laserstrahl (5), mit einer Laserstrahl-  
quelle, einer Fokussieroptik (11) sowie Einrichtun-  
gen zum Positionieren und Halten der zu ver-  
schweißenden Werkstücke,

dadurch gekennzeichnet, daß ein Stößel (6) und ei-  
ne Antriebseinrichtung für diesen Stößel (6) vorge-  
sehen sind, wobei mit der Antriebseinrichtung der  
Stößel (6) zur Übertragung von Impulsen auf das  
dem Stößel (6) zugewandte Werkstück (1) zube-  
wegt werden kann,  
daß der Stößel (6) im Innern hohl ausgebildet ist  
und

daß die Antriebseinheit mit dem Stößel (6) derart  
an der Fokussieroptik befestigt ist, daß der Laser-  
strahl (5) durch das Innere des Stößels (6) hindurch  
auf die Werkstückoberfläche trifft.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch ge-  
kennzeichnet, daß die Fokussieroptik (11) im Be-  
reich des Austritts der Laserstrahlung mit einer Ab-  
decklinse (23) versehen ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch  
gekennzeichnet, daß der Stößel (6) wenigstens ei-  
nen Anschlußstutzen (22) für die Zuführung von  
Schutzgas (21) aufweist.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis  
23, dadurch gekennzeichnet, daß der Stößel (6) ko-  
nisch ausgebildet ist und der Kopf des Konus der  
Werkstückoberfläche zugewandt ist.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 21 bis  
24, dadurch gekennzeichnet, daß der Stößel (6) zu-  
sätzlich zur axialen Bewegung eine Rotation aus-  
führen kann.

26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis  
25, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Werk-  
stück (1) zugewandte Seite des Stößels (6, 6') aufge-  
raut ist und vorzugsweise ein vorgegebenes Mu-  
ster aufweist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





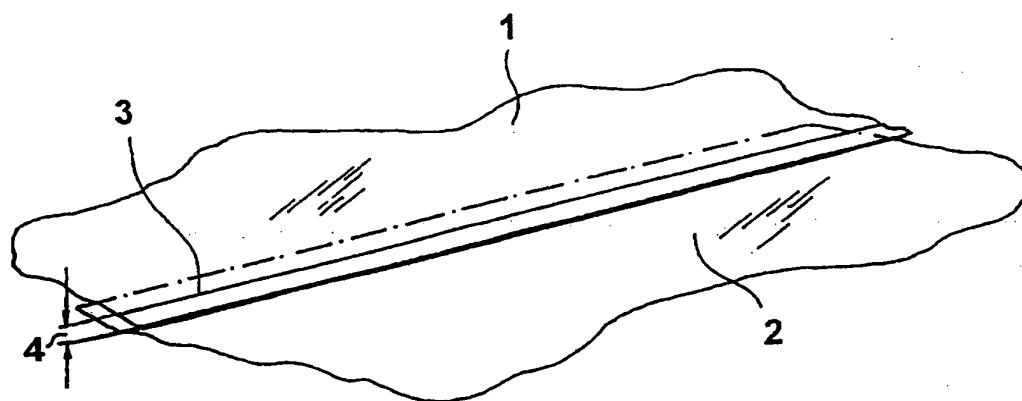


FIG. 1

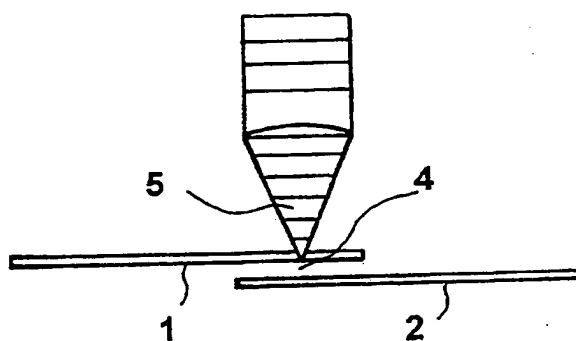


FIG. 2a

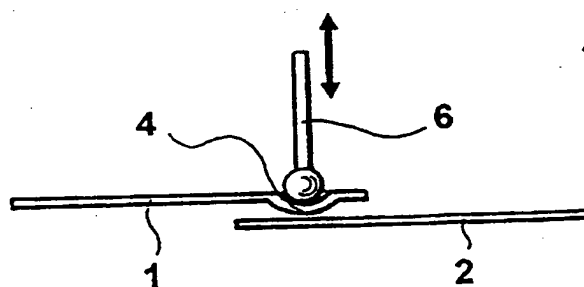


FIG. 2b

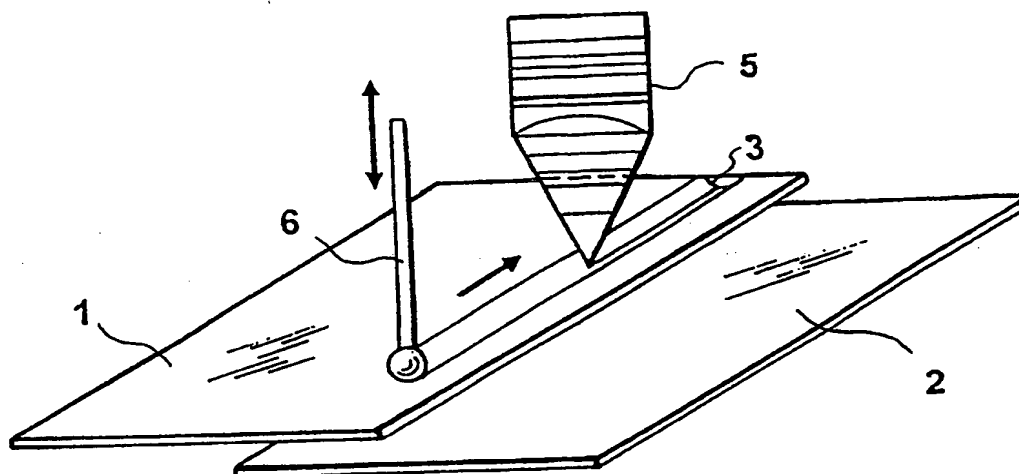


FIG. 3

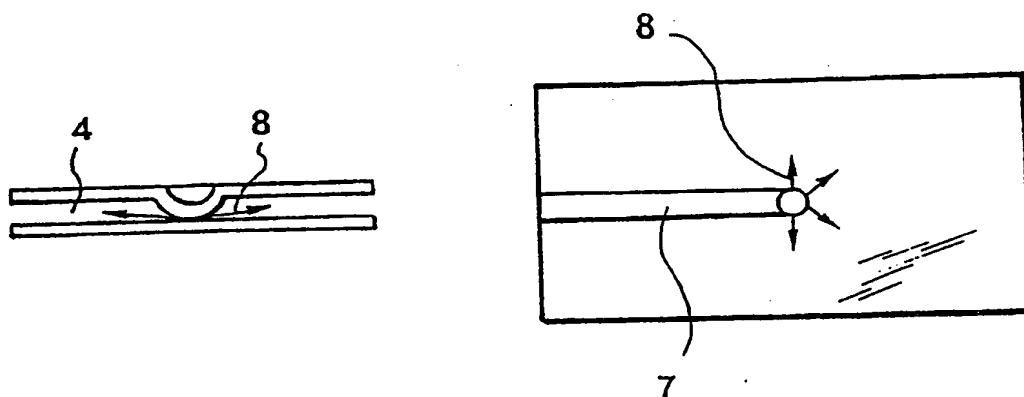
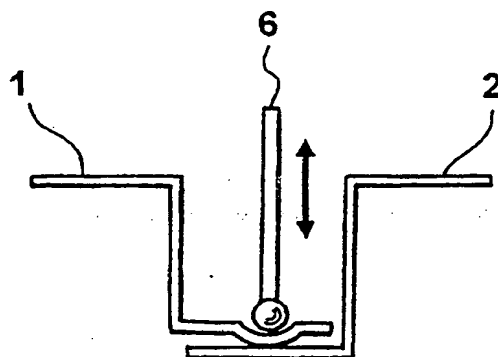
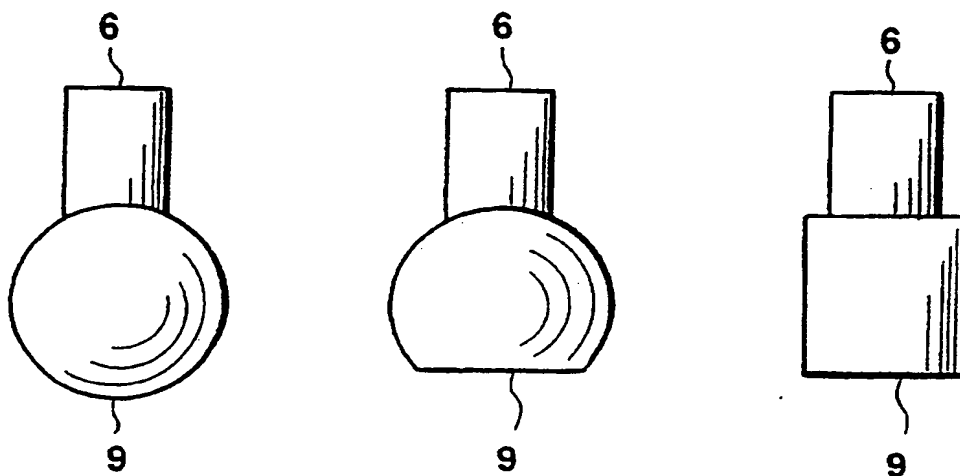


FIG. 4



**FIG. 5**



**FIG. 6**

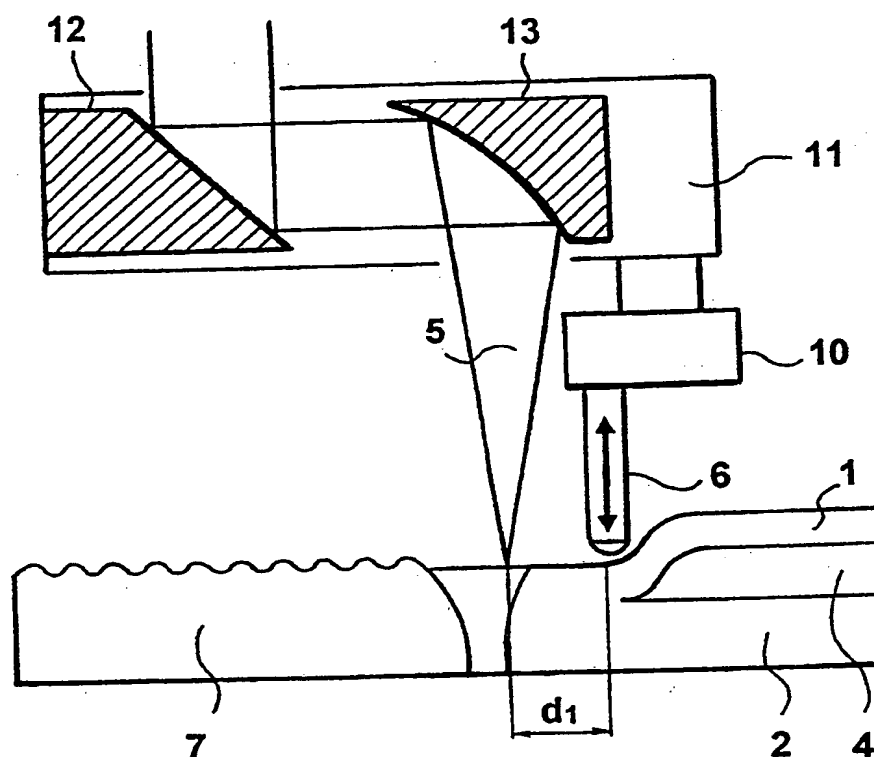


FIG. 7

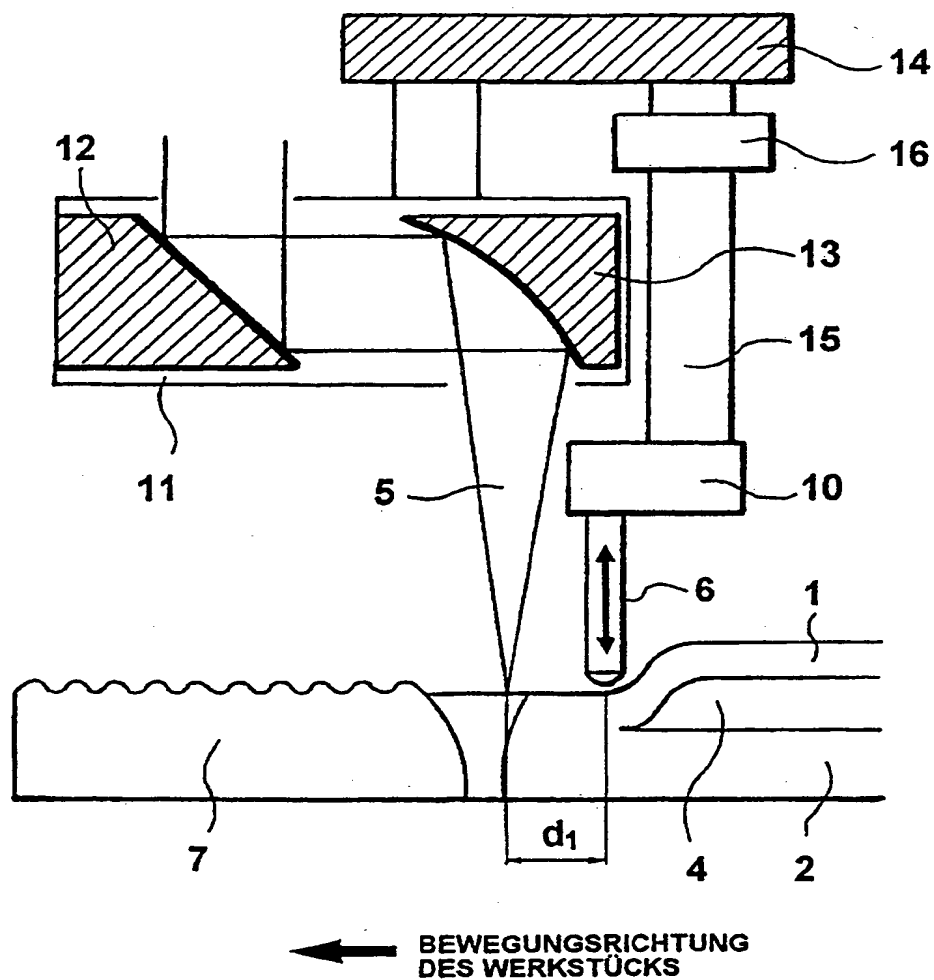


FIG. 8

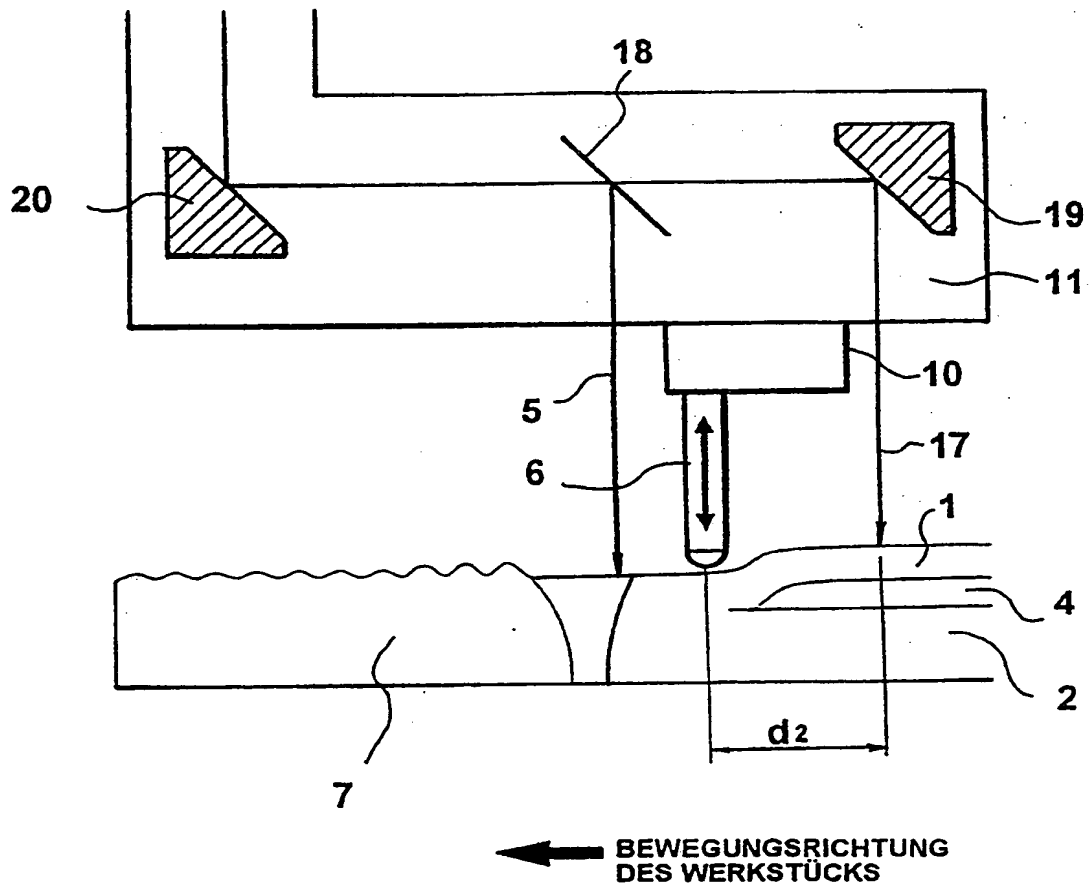


FIG. 9

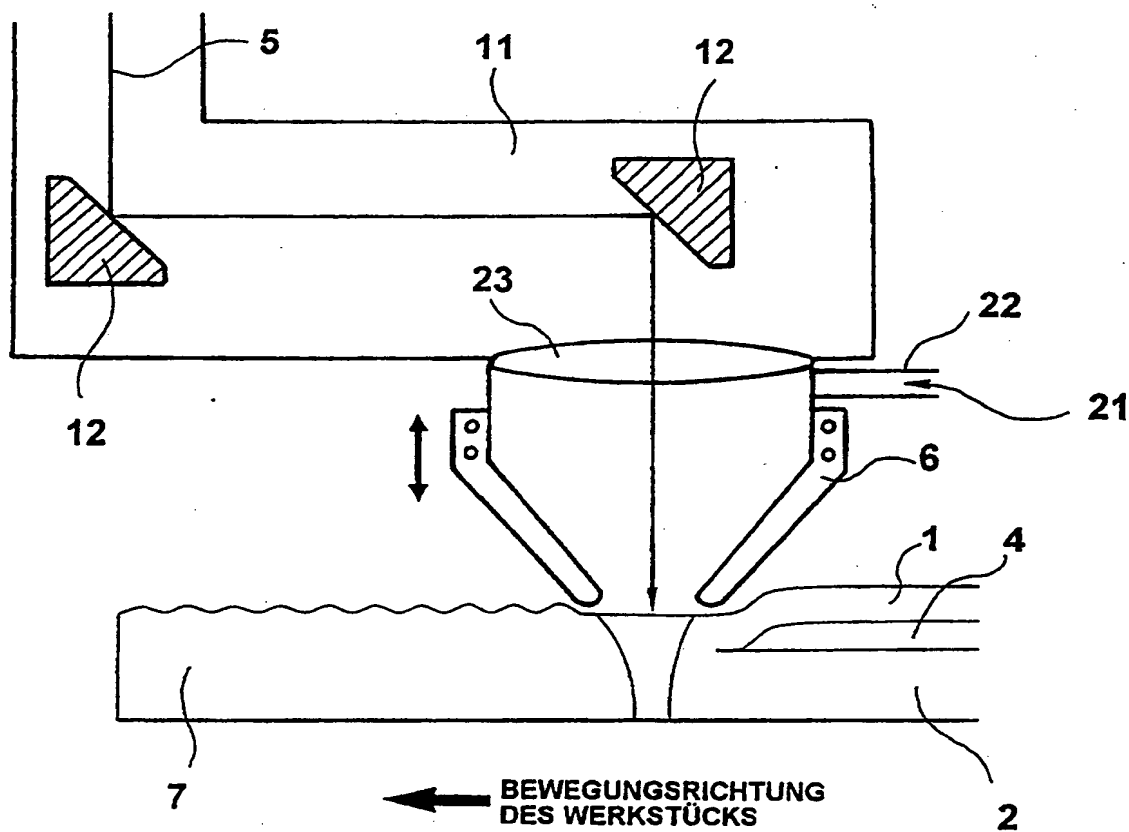


FIG. 11